

半导体材料表面光洁度对光吸收 表观值的影响

王桂芬 马根源 张光寅

(南开大学物理系)

1986年3月11日收到

我们采用光声室和压电陶瓷两种检测方式，分别研究了N型单晶锗和硅两种材料表面光洁度对10.6微米光吸收表观值的影响。结果表明，对于弱吸收的材料，随着材料表面光洁度变差，光吸收表观值明显增加，而对于光吸收较强的材料，随着表面光洁度变差，光吸收表观值反而明显减少。

一、引言

固体的光声光谱方法是本世纪七十年代发展起来的一种十分有用的光谱工具，它已广泛应用于物理、化学、生物和医学等各个领域中。由于光声信号正比于材料的光吸收系数，用光声法测量材料的吸收系数是一种很好的方法。它不仅方法简单，灵敏度高，而且能研究用常规光谱法不便研究的高透明的弱吸收材料和透明度很差的强吸收材料，包括粉末状物质、非晶体、液晶、半流体材料等。特别是测量物体的弱吸收(吸收系数为 10^{-5} — 10^{-6} 厘米 $^{-1}$)，更有它独到之处。

本文研究了N型单晶锗和硅两种材料，表面光洁度对光声吸收信号的影响。

二、实验及其结果

我们采用了光声光谱的传统的实验装置^[1]。所用CO₂激光波长为10.6微米，功率为2瓦，斩波器的频率为110Hz。分别采用光声室和压电陶瓷两种不同的检测方式，研究了n型单晶锗和硅两种材料，样品表面光洁度对光声信号的影响。

首先用光声压电法分别测量了两块经光学抛光的n型锗(电阻率分别为 $16\Omega \cdot \text{cm}$ 和 $40\Omega \cdot \text{cm}$ ，厚度均为3mm)的光声信号，然后把两块样品都用粒度为500的水砂纸研磨，在与上述测量的同样条件下(即保持激光功率、斩波频率、照射光束到压电陶瓷之间的垂直距离都不变)，再进行测量，所得结果如表1所示。从表1中可以看出，两块样品用水砂纸研磨后的光声信号都比它们在光学抛光时的光声信号大，而且均增加1.5倍左右。随着样品表面光洁度变差引起光声信号增大的原因是由于锗在10.6微米的吸收系数很小(一般为0.02cm $^{-1}$ 左右)，当表面变粗糙以后，吸收路径变长，从而使吸收增加，这与以前报道的结果一致^[2]。

表 1 锗的光声信号与样品表面光洁度的关系

电阻率 $\rho (\Omega \cdot \text{cm})$	光声信号(任意单位)	
	光学抛光	水砂纸研磨
16	2.35	3.65
40	4.15	6.25

为了测量硅的光声信号, 我们首先把同一块 n 型单晶硅链条切去两头, 将中间部分(约两厘米厚的一段)切成六块厚度相等(均为 3mm) 的圆薄片。由于我们所选择的只是硅链条中间的一小段, 而且在实验时, 光束均照射在样品中心, 因此由于样品本身的差异及厚度变化对光声信号的影响就很小。我们也测量了每块样品中心处的电阻率, 差异很小。然后我们将切好的六块样品进行不同表面处理, 即光学抛光、化学抛光、未抛光(经切片机切割后不再加工)及用 303#、280#、220# 金刚砂研磨。处理后的六块样品先后用光声室法和压电法测量光声信号, 所测结果如表 2 所示(在两种检测方式中, 均把光学抛光样品的光声信号定为 100)。从表 2 中可以看出, 无论是用光声室法还是用压电法测量, 经过光学抛光的样品, 光声信号最大, 随着样品表面光洁度逐渐变差, 光声信号逐渐减小。这是由于我们选作样品的 n 型单晶硅(电阻率为 $0.6\Omega \cdot \text{cm}$) 吸收系数比较大(约为 2cm^{-1}), 随着表面变得比较粗糙后, 很大一部分光被样品表面散射掉, 因而随着样品表面光洁度变差, 光声信号减小。

表 2 硅的光声信号与样品表面光洁度的关系

光洁度 光声信号 检测方式	光学抛光	化学抛光	未抛光	303# 研磨	280# 研磨	220# 研磨
光声室法	100	67	59	52	45	33
压电法	100	76	70	65	60	51

我们也分别测量了每块样品的透射功率, 由于样品背面仍有散射作用, 因而随样品表面变粗糙, 透射功率衰减得更快。这就进一步证实了我们分析的正确性。

从表 2 还可以看出, 用光声室法检测到的光声信号要比用压电法检测到的光声信号衰减得更快, 这是由于采用的是经过我们改进的高灵敏度的光声室, 所测光声信号是入射光被样品吸收和透射光被反射回来再次被样品吸收——两次吸收的结果^[4]。

三、讨论与结论

由 R-G 理论可知, 光声信号正比于光吸收系数。对于表面粗糙的样品的反射, 除了有样品表面、粗糙表面与样品内部的界面及样品背面的反射以外, 还有样品表面粗糙部分内的漫散射。对于弱吸收材料锗, 吸收系数 $\beta = 0.02\text{cm}^{-1}$, 即光强衰减到原来的 $\frac{1}{e}$ 的吸收长度为 $\mu_s = 50\text{cm}$, 而样品厚度 $d = 3\text{mm}$, 因此, 光在样品体内吸收很少, 表面部

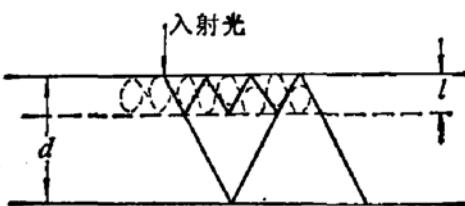


图 粗糙表面反射的示意图
其中 d 为样品厚度, L 为粗糙表面层的厚度

分的反射次数则要多得多, 因而由于样品表面变粗糙使得光路变长起主要作用。所以样品表面变得粗糙后, 光吸收表观值明显增加。对于吸收较强的硅, $\beta = 2\text{cm}^{-1}$ (对于我们所选作样品的材料), $\mu_s = 5\text{mm}$, 光吸收长度只有锗的百分之一, 而样品厚度同样为 3mm, 光进入样品后只经过一次反射就大部分衰减掉了。因而样品表面变粗糙使得光路变长的因素可以忽略。但样品表面变得粗糙时, 散射增加, 进入样品内部的光大大减少, 因而使总的光吸收表观值减小。

由以上两种材料的测试结果可以看出, 吸收小的材料, 随着样品表面光洁度变差, 光声信号明显增加, 而吸收较大的材料, 随着表面光洁度变差, 光声信号减小。因而我们在用光声法测量激光器窗材料的吸收系数时, 一定要考虑样品表面光洁度的影响, 如果用比较法进行相对测量, 更要保证每块样品的光洁度相同, 否则测量结果是不准确的, 因而在选择激光器窗材料时就会发生错误。

参 考 文 献

- [1] 王桂芬, 王进雄, 杨富华, 马根源, 张光寅, 中国激光, 11, 491 (1984).
[2] L. Eaves, H. Vargas and P. J. Williams, *Appl. Phys. Lett.*, 38, 768 (1981).

Influence of Surface Smoothness of Semiconductor Material on Optical Absorption Apparent Value

Wang Guifen, Ma Gengyuan and Zhang Guangyin

(Department of Physics, Nankai University)

Abstract

Influences of surface smoothness of the n-type single crystalline germanium and silicon on optical absorption apparent value are investigated by both photoacoustic cell and piezoelectric ceramic as photoacoustic detector. The results demonstrate that optical absorption apparent value increases clearly for weak absorption material and decreases for strong absorption material as surface become roughen.